

環動昆

報文

八木雅之・笹川満廣：コガタシマトビケラの生活史と群飛行動
..... 1

吉村剛・角田邦夫・高橋旨象・勝田純郎：イエシロアリに対す
る昆虫寄生菌 *Conidiobolus coronatus* の病原性（英
文） 11

南手良裕・藤江真子・林文夫・勝田純郎：シラフルオフエン (Hoe
-498) の衣料害虫防除分野への適用 17

亀井正治・浅野昌司・吉川和哉・石井孝：し尿浄化槽に発生す
るオオチョウバエ *Clogmia albipunctata* (WILLIS
TON) に対する methoprene 及びその徐放製剤
Altosid® 10F の効果 24

短報

亀井正治・島田秀弥・浅野昌司・石井孝：日本及び中国産アカ
イエカの methoprene 及び数種の有機リン系殺虫剤
に対する感受性（英文） 30

解説

渡辺弘之：動物（哺乳類）調査とデータ解析の手法 33

由井正敏：野鳥調査とデータ解析の手法 40

徳丸久衛：生物指標の考え方とデータ解析法—身近な生きもの
調査をめぐる—考察 45

会報 56

会員動静

日本環境動物昆虫学会会則

日本環境動物昆虫学会投稿規定

学術会議日より

Vol. 4 | 1992



日本環境動物昆虫学会

コガタシマトビケラの生活史と群飛行動*

八木雅之・笹川満廣

京都府立大学農学部

(受理：1991年5月21日)

Life History and Swarming Behaviour of Caddis Fly, *Cheumatopsyche brevilineata* (IWATA) (Trichoptera:Hydropsychidae). Masayuki YAGI and Mitsuhiro SASAKAWA (Laboratory of Entomology, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Shimogamo, Kyoto, 606 Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 4 : 1-10 (1992)

The occurrence of a caddis fly, *Cheumatopsyche brevilineata*, during the summer season has much annoyed the citizens beside the Kamogawa River in Kyoto. Its seasonal occurrence in both larval and pupal populations and a relationship between swarming and climatic conditions were investigated in 1986-88. It passes through 3 generations: the first from the end of May to July, second, the end of June to September, and third, mid-September to the next June; overwintering in the 3rd-5th larval stadia. The highest larval and pupal densities reached about 5,900 per square meter at the end of August, 1986 and about 4,500 in the middle of June, 1987, but those were greatly decreased by levelling work on the river-bed with bulldozers or flooding after a heavy rain. Larvae had 5 stadia with about a 1.5 growth ratio, and were algophagous as in *C. echigoensis* (TSUDA), judging from the examination of fore-gut contents. Larvae of the second generation were smallest in width of head-capsule as compared with those of other generations, because of a high water temperature and low consumption of algae. Most of adults emerged at 16:00-21:00 p.m. and survived for about one week (7.4 days in females and 8.3 in males). Virgin females had 280 matured eggs on an average within their ovaries. Females deposited 272 eggs in an egg-mass on the sides of stones in the shallows. Swarming by males was observed at dusk (500-10,000 lux in June and 2,000-25,000 in Sept.-Oct., 20-32°C, 35-68% r.h.), and it occurred whenever the illuminance decreased suddenly (-219 lux/min. on an average in June and -248 in Sept.-Oct. within the limits of illuminance described above). Females did not join with males in a swarm. Mating did, therefore, not take place in swarm flight as in the Dipterous insects.

Key Words : *Cheumatopsyche brevilineata*, Number of generations, Larval and pupal densities, Larval size, Algophagous, Swarming, Illuminance.

* 京都府立大学農学部昆虫学研究室業績 第244号

賀茂川(京都市)の優占種であるコガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata* (IWATA)の生活史を明らかにするために、1986年8月から1988年10月にかけて定期的に幼虫および蛹を採集したほか、夕刻における成虫の群飛行動と気象要因との関係について検討した。本種は年3世代を経過し、3~5齢幼虫で越冬する。幼虫は5齢を経過し、藻類とデトリタスを摂取する。第2世代幼虫は他世代のそれらに比べて小さい。成虫は夕刻から羽化しはじめ、約1週間生存する。雌成虫は瀬にある底石の側面部に1卵塊を産みつける。樹木の枝や幹を包むような形の群飛は雄のみによって形成され、その行動は照度、照度較差、気温、湿度、日没前時刻などに支配され、とくに照度較差が解発因になっている。なお、ブルドーザーによる河床整正は、豪雨による増水ほん流と同じように、トビケラ類幼虫に対する物理的防除効果のあることがわかった。

はじめに

賀茂川は京都北山(標高約700m)を源とし、高野川と合流して京都市中央部を南北に流れ、桂川と合流したのち淀川に至る全長約35kmの河川である。また、琵琶湖疏水は京都市蹴上付近で暗渠から出たのち、開渠となって川端二条付近で賀茂川に放流されている。

本河川には優占種であるコガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata* (IWATA)のほか、エチゴシマトビケラ *C. echigoensis* (TSUDA)、ウルマーシマトビケラ *Hydropsyche orientalis* MARTYNOV、ギフシマトビケラ *H. gifuana* (ULMER)、オオシマトビケラ *Macrostemum radiatum* (McLACHLAN)などのシマトビケラ類が生息している。そのほかに少数のアオヒゲナガトビケラ *Mystacidides azurea* (LINNAEUS)、ニンギョウトビケラ *Goera japonica* BANKS もみられる。

木村(1957)は、1956年に本川の上流(御園橋周辺)と中流(北大路橋周辺)における水生生物相を調査し、後者の群集構造が単純であるのは周辺の住宅増加による水質汚濁の結果であろう、とした。その後、1960~70年代には周辺の急激な宅地化や人口増による環境汚染が進んだ結果、賀茂川の水質が著しく悪化し、夏季にはユスリカ類、特にセスジユスリカ *Chironomus yoshimatsui* MARTIN et SUBLETTEが毎年大発生し、市民から不快昆虫として問題視された。ところが近年では、それがトビケラ類に置き換わり、特にコガタシマトビケラの幼虫が多発生し、多数の成虫が夜間、流域周辺の住宅や飲食店の灯火に飛来して被害をもたらすようになった(佐々木ら、1985)。これらの水生昆虫の発生消長や優占種の変遷は本河川の環境変化を反映した結果でもある。京都府公害対策技術者会議では1983年より「河川に発生

するトビケラ類の生態と防除について」という研究課題に取り組み、賀茂川に発生するコガタシマトビケラ幼虫の生態については足立ら(1985~88)が主として個体数変動と水質との関係について、笹川・吉安(1985~88)は成虫の発生消長と群飛について報告している。しかし、本種の生活史の詳細については不明であった。そこで、賀茂川および琵琶湖疏水で幼虫・蛹を定期的に採集し、その発生消長から生活史を明らかにするとともに河川環境が幼虫の発育に及ぼす影響を考察した。また、成虫の群飛行動と気象要因との関係を詳しく調べ、その解発因の解析と行動学的意義について検討を行ったので、ここに報告する。

調査場所と方法

調査地点は賀茂川源流部より下流約20km、標高70mの北大路橋付近で、川幅は約50m、水深は10~100cmである。橋の上・下流には約100mごとに高さ約70cmの堰堤が設けられ、堰堤下はコンクリートブロックが敷設されている。川底は主として石礫(長径5~20cm)が占め、河川形態はBb型である。流路の中央と両端には雑草の茂る狭い中州があり、河川敷は公園になっている。

調査期間は1986年8月から1988年10月までで、約1週間または1か月ごとに、橋の下流にある2堰堤間の比較的平らな瀬の部分で5m離れた2区をランダムに選んで幼虫および蛹を採集した。その際、50×50cmのサーバーネット(1mm目)を用いて底石ごと採集した後、直ちに5%ホルマリン溶液で固定した。同時に(午前11時前後)気温、水温、表面流速、平均水深、底石の状態、溶存酸素量(DO)の測定を行った。実験室に持ち帰った石礫上の幼虫および蛹はすべて集め、75%エタノール中に保存した。後日、実体顕微鏡下でコガタシマトビケラ幼虫

を選別したのち、接眼マイクロメーターで幼虫の点眼後部間の頭幅(最大幅)を測定し、齢期を判定した。齢別幼虫と蛹の個体数を数え、平均構成比(%)を求めた。

幼虫の前腸内容物はCUMMINS(1973)の方法に従って調べ、藻類・維管束植物・動物質・デトリタス(微小有機粒子)に分類した。供試個体数は第3齢幼虫は8匹、第4・5齢幼虫は各5匹とし、600倍の倍率下でプレパラート当り20の全視野に見られる平均粒数を求め、構成比(%)を算出した。なお、比較のためエチゴ・ウルマー・ギフ・ナカハラシマトビケラ(宇治川産) *Hydropsyche setensis* IWATA・オオシマトビケラの各5齢幼虫の前腸内容物についても調べた。

成虫の生存日数を調べるために、1988年10月に蹴上付近の導水路で幼虫・蛹を底石ごと採集し、実験室内で水槽中で飼育を続けた。夕刻から夜間にかけて羽化した成虫を翌朝収集して雌雄に分け、金網蓋付きガラス管瓶(長さ12.5cm、直径3.5cm)に2~16匹を入れ、 20.0 ± 1.0 °C、16L:8Dの恒温室内で飼育した。餌としては脱脂綿にしみこませた水だけを与え、毎日一定時刻に観察した。また、羽化5~8日目の処女雌を解剖して蔵卵数を数えた。さらに、卵塊当りの卵数調査には、1988年9月

に北大路橋下流の瀬で採集した石礫上の卵塊を用いた。

成虫の群飛(スウォーム)は、1988年6月6・7・10・13・20日と9月29日、10月15・22日に北大路橋下流の左岸堤防に植栽されたエノキ並木で観察した。観察は午後、日没まで実施し、1分ごとに行動を記録した。飛翔個体数を基準にして、全く飛翔しなかったときは階級0とし、1~9匹、10~49匹、50匹以上の飛翔をそれぞれ階級1, 2, 3とした。飛翔行動は風や振動によって発生することがあるため、明瞭な階級2・3の場合を群飛とした。同時に1分ごとに照度を、5分ごとに温度と湿度を測定し、照度変化は相連続する照度の較差によって求めた。また、群飛個体の性比を知るために9月19・21・23日の3日間同じ場所で、夕刻に群飛しているときと、群飛していないときの成虫集団を5か所でスウィーピング(10回振り)によって採集し、雌雄に分けた。

なお、調査地点において、1986年11月1日~12月11日には堰堤補修工事と河床整形が実施され、1987年4月2日にはブルドーザーによる河床の全面整形が行われた。また、1987年7月14日と19日にそれぞれ111.5mmと86.5mmの集中豪雨(京都地方気象台発行の気象月報による)があって河床の様相が大きく変化し、1986年11月以

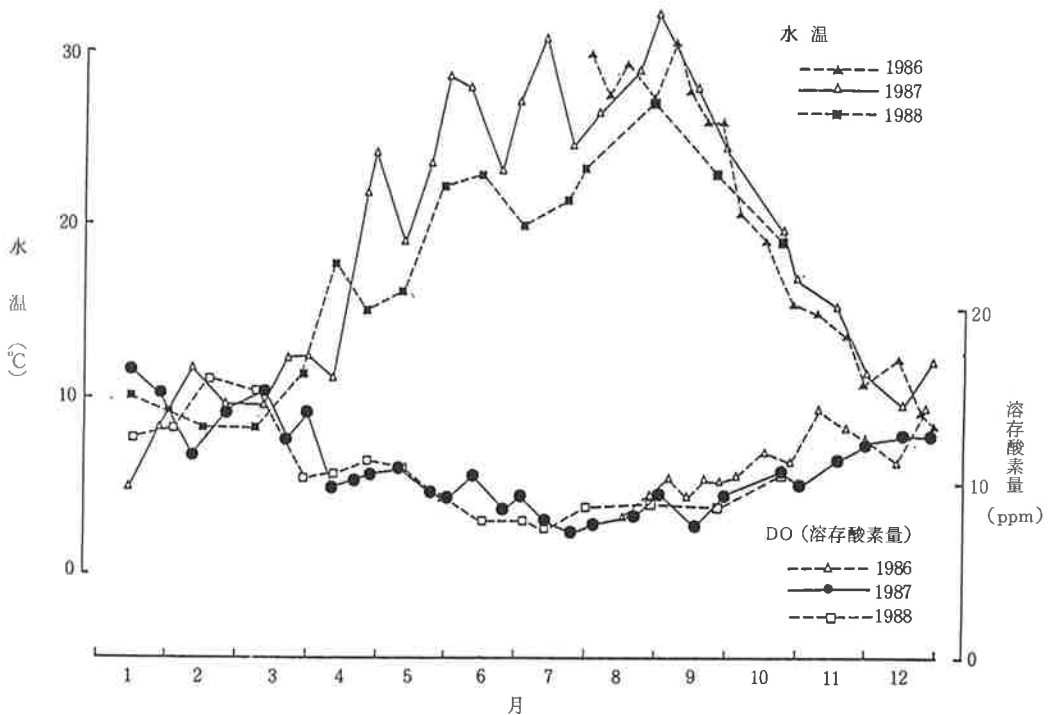


図1. 調査地点の水温と溶存酸素量(DO)の季節変動

前のように中州が復元した。

結 果

1. 生活史

川の水温と溶存酸素量の年次変動

1986年8月から1988年10月までの幼虫採集時に測定した水温和溶存酸素量(DO値)の変動を図1に示した。水温は8~9月に高く、1986・87年度の平均水温は27.9℃で、30℃を越す日もあった。1988年度は低温で、6~7月の水温は1987年5月ごろのそれとはほぼ同程度であり、盛夏期に入っても30℃を超えることがなかった。秋期から冬期にかけては各年度ともほぼ同様の下降傾向を示した。12月下旬から3月にかけての水温は低く、最低水温は1987年で4.7℃(1月13日)、1988年では8.3℃(3月7日)であった。

DO値は各年度ともほぼ同様の変動を示し、夏期に低く(6~8月の平均値は8.7ppm)、冬期に高かった(12~3月の平均14.8ppm)。

なお、表面流速は、降雨による変動時を除いて、全調査期間を通じて0.3~0.7m/sで、停滞したり、干上がったりすることは決してなかった。

幼虫および蛹の個体数変動

採集日ごとの幼虫および蛹の総個体数ならびに幼虫の齢構成は図2のようであった。ただし、幼虫は、頭幅測定値の頻度分布からみて、明らかに5齢を経過し、各齢幼虫(1986年度第2世代)の平均頭幅値(y, 対数値)と齢数(x)とのあいだには $y = 0.176x - 0.911$ ($r = 0.99^{***}$)の関係式が得られた。

総個体数は、1986年8月29日に5,870匹/㎡のピークがみられたのち、10月には2,000匹前後の低い山が、1987

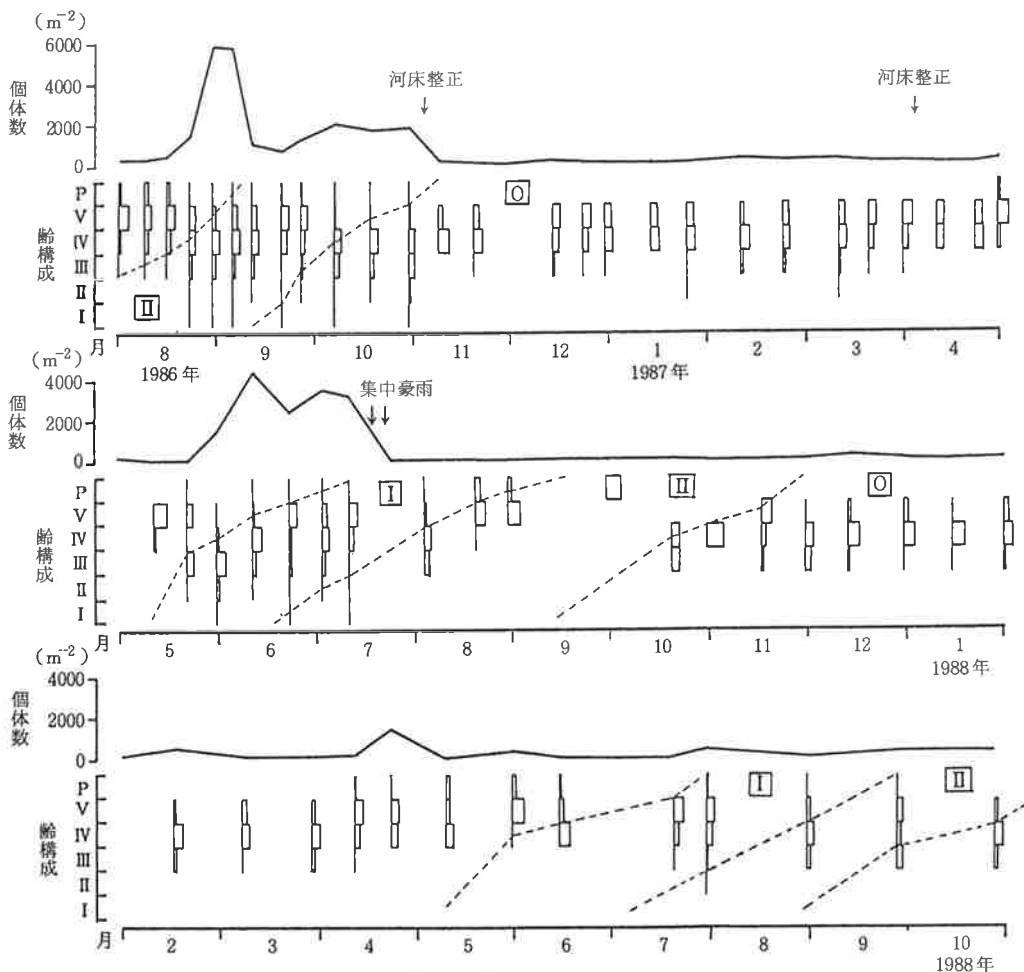


図2 コガタシマトペケラ幼虫・蛹の齢構成と個体数の季節変動

図中の棒グラフは齢別幼虫と蛹の比率(%)を、折れ線グラフ(実線)は1㎡当りの幼虫個体を、破線は世代間を推定境界を示す。I~Vは第1~5齢幼虫、Pは蛹、□、○はそれぞれ第1・2世代を示す。

年には6・7月の上旬にそれぞれピーク(6月11日に4,446匹, 7月2日に3,524匹)がみられた。両年度のピーク後の激減はそれぞれブルドーザーによる河床整正作業(1986年11月1日)と集中豪雨(1987年7月14, 19日)による増水によってもたらされた。1988年1~10月の平均個体数は260匹/㎡であった。

ついで幼虫の齢構成の推移をみると, 5月下旬ごろから7月ごろにかけては第1世代の幼虫が発育し, 蛹化した。ついで第2世代の幼虫が6月下旬ごろから9月にかけて発育・蛹化した。その後, 9月中旬ごろからみられる幼虫は越冬世代のもので, 水温の低下する11月中旬ごろには第3~5齢期にまで発育し, そのまま越冬した。そして翌年4月中旬ごろから再び発育を開始し, 5月中・下旬に蛹化した。

幼虫頭幅値の世代間差異

世代ごとの各齢幼虫の頭幅値を比較したところ, 第2世代幼虫の頭幅値は他の2世代のそれらに比べて第1齢期を除いたすべての齢期で小さく, 第3~5齢期ではそれらのあいだに有意な差が認められた(表1)。また, 第1齢幼虫の頭幅値は世代間で変わらなかったが, 第2・

3齢幼虫のそれらは越冬世代よりも第1世代の個体で明らかに大きく, それとは全く逆の関係が第4・5齢幼虫の頭幅値についてみられた。

幼虫の前腸内容物

幼虫の前腸内容物を調べたところ, いずれの世代・齢期の幼虫にも藻類とデトリタスとがみられ, 維管束植物や動物質は全く認められなかった(表2)。また, 第5齢幼虫の前腸内容物について世代間で比較すると, 第1世代幼虫では他の世代のそれらよりも藻類構成比が高かったのに対して, 第2および越冬世代の幼虫では逆にデトリタスの比率が著しく高かった。さらに, 第1世代の幼虫では齢期が進むにつれて藻類の比率が増大することがわかった。

ついで他種の5齢期幼虫についても前腸内容物を調査した(表2)。その結果, 本種と同じ属に属するエチゴシマトビケラと, オオシマトビケラ属のオオシマトビケラは本種と同様に藻類とデトリタスだけを摂食していた。他方, シマトビケラ属のナカハラ・ウルマー・ギフシマトビケラの各幼虫はそれらに加えて少量の動物質を摂食していた。特に後2種の内容物中にはトビケラ類幼虫の

表1 コガタシマトビケラ幼虫の頭幅(μm, $\bar{x} \pm SD$)

世 代	齢 期				
	I	II	III	VI	V
第1世代	175	294.9 ± 12.5 a ¹⁾	463.4 ± 19.2 c	660.4 ± 28.4 f	1021.3 ± 42.6 i
第2世代	175	227.1 ± 14.3 b	419.2 ± 19.7 d	626.6 ± 30.3 g	880.9 ± 35.1 j
越冬世代	175	281.3 ± 15.9 b	439.4 ± 19.5 e	688.0 ± 35.1 h	1044.5 ± 66.6 k

1) 異符号間は95%水準で有意差あり(t検定)

表2 シマトビケラ類幼虫の前腸内容物

種 名	齢 期	内 容 物 構 成 比 (%)			
		藻類	動物質	維管束植物	デトリタス
コガタシマトビケラ					
第1世代	III	6.0	0	0	94.0
	IV	33.9	0	0	66.1
	V	71.1	0	0	28.9
第2世代	V	13.3	0	0	86.7
	V	13.4	0	0	86.6
エチゴシマトビケラ	V	4.3	0	0	95.7
オオシマトビケラ	V	2.5	0	0	97.5
ナカハラシマトビケラ	V	0.7	0.4	0	98.9
ウルマーシマトビケラ	V	2.7	0.2	0	97.1
ギフシマトビケラ	V	1.6	0.2	0	98.2

クチクラやキチン質片が含まれていた。ただし, 微細片であったため摂食された種の同定はできなかった。

成虫の寿命と産卵数, 卵塊サイズ

短命な個体は雌雄ともに羽化後4日目に死亡したが, 長命なものは2週間生存した(図3)。また, 雌雄の平均生存日数はそれぞれ7.44日, 8.38日で, 雄成虫の方が長かった(χ^2 検定, $P < 0.01$)。

雌成虫は, 羽化5日後になると, それまで青緑色であった腹部が黄色を呈し, 腹腔内には成熟卵が充満した状態になる。それらを解剖した結果, 処女雌当りの平均産卵数は 280.4 ± 27.3 個($\bar{x} \pm SD$, 以下同様; $n=10$)であった。

雌成虫は通常, 石の側面部に卵(長径 0.37 ± 0.01 mm, 短径 0.18 ± 0.01 mm)を卵塊として産みつける。石1個(長

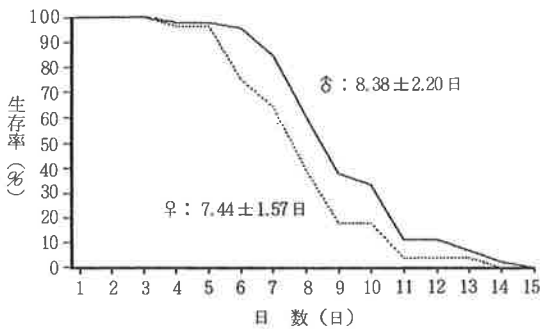


図3 コガタシマトビケラ成虫の生存日数 ($\bar{x} \pm SD$, $n=45$ ♂♂, 27 ♀♀)

径約 8.8 cm) 当りの卵塊数は 1~4 個で、1 卵塊の大きさは長径が 5.85 ± 0.99 mm, 短径が 3.93 ± 0.77 mm であった。また、卵塊当りの卵数は 89~412 個でばらつきが大きかったけれども、平均卵数は 271.76 ± 72.51 個 ($n=21$) で、1 処女雌卵巣内の蔵卵数とほぼ一致していた。

2. 群飛 (スウォーム)

群飛虫の性比

採集した蛹を実験室に持ち帰り、羽化させた成虫の性比 (♀:♂) は 0.8:1.0 であったのに対して、群飛時にスウィーピングした成虫のそれは 0.1:1.0 であった。なお、日中、階級 1 の飛翔個体の性比は 0.4:1.0 (3 日間、5 地点でスウィーピングした平均値) であった。

群飛行動と照度との関係

群飛調査日のうち、6月6日と7日、10月22日の観察結果を図4に示した。すなわち、6月6日は快晴であって、照度は16時16分の56,500ルクスから19時8分の日没にかけて漸次低下した。初群飛は18時3分(6,600ルクス)にみられたのち、消長を繰り返しながら18時56分(893ルクス)の群飛で終わった。6月7日は曇天日で、16時34分の9,380ルクスから19時9分の日没にかけて照度は低下するものの、経時的照度較差は顕著でなかった。したがって、群飛は16時35分と17時42・46分、18時1分にそれぞれ6, 3, 2, 3分間の短時間のものにすぎなかった。さらに、10月22日は晴れていたが、雲が多く、14時40分の47,000ルクスから日没(17時14分)までの間に数回、太陽の雲隠れによって照度が大きく変化した。群飛は照度が急激に低下した15時3・32・50分に発生し、照度の復元とともに群飛を停止した。その後、群飛は16時14分から50分の間にも断続的に発生した。

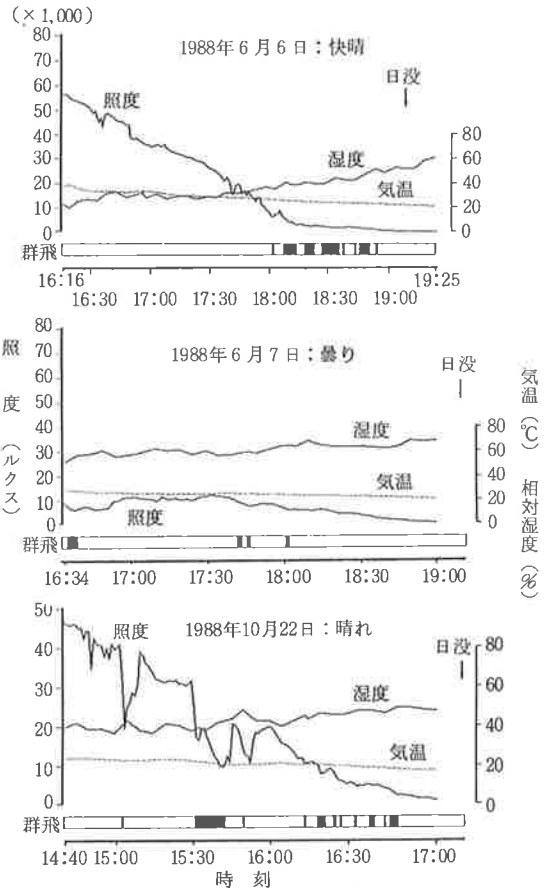


図4 コガタシマトビケラの群飛と照度・気温・相対湿度の時刻変化。群飛枠内の黒色部は群飛中の時間帯を示す

ついで成虫の飛翔または群飛行動と照度較差の関係を検討した。すなわち、6月と9・10月において川岸の樹木の枝や幹を包むような形で群飛が複数回観察されたの

表3 コガタシマトビケラ成虫の群飛の有無と平均照度較差 (lux/分)

調査月	飛翔階級	照度 (ルクス) 範囲			
		500未満	500~1万	1万~2.5万	2.5万以上
6	群飛なし ¹⁾	-24	-88 a ³⁾	-1,067	-1,035
	群飛中 ²⁾	-	-219 b	-360	-
		2000未満	2000~2.5万	2.5万~4万	4万以上
9・10	群飛なし	-68	176 a ³⁾	-637	-1,173
	群飛中	-	-248 b	-14,000	-

1) 階級0~1 (0~9匹飛翔), 2) 階級2~3 (10匹以上飛翔),

3) 異符号間は、MANN-WHITNEYのU検定によって、99%水準で有意差あり。

表4 コガタシマトビケラ成虫の群飛と気温・相対湿度との関係

調査月	飛翔階級	気温 (°C)		相対湿度 (%)	
		平均(±SD)	最低～最高	平均(±SD)	最低～最高
6	0	29.8 ± 3.9	18.4 ~ 38.9	44.1 ± 10.9	20.3 ~ 69.4
	1	25.9 ± 3.0	19.0 ~ 33.8	52.8 ± 9.3	31.9 ~ 69.5
	2	24.6 ± 2.3	20.2 ~ 30.4	52.0 ± 8.8	35.8 ~ 68.1
	3	25.6 ± 1.5	23.5 ~ 28.8	42.7 ± 4.7	38.3 ~ 53.8
9・10	0	24.6 ± 3.3	18.6 ~ 32.5	42.9 ± 6.0	36.2 ~ 62.1
	1	22.7 ± 3.7	17.5 ~ 32.6	50.7 ± 8.3	35.8 ~ 70.2
	2	23.3 ± 3.9	18.3 ~ 32.6	47.9 ± 7.0	35.4 ~ 68.5
	3	25.4 ± 3.5	20.5 ~ 31.1	49.7 ± 8.6	37.6 ~ 66.7

は、6月では500ルクス以上1万ルクス未満、9・10月では2,000ルクス以上25,000ルクス未満の照度範囲であって、この範囲内では照度較差が大きくなるにつれて階級値が大きくなる傾向がみられたが、有意差はなかった。しかし、群飛時の照度較差は、両調査月ともに、群飛していないときのそれに比べて明らかに大きかった(表3)。

群飛行動とその他の環境要因との関係

群飛行動と気温・湿度との関係を見ると、群飛は気温が20~32°C、相対湿度が35~68%のときにみられた(表4)。群飛時の温湿度の範囲(最低~最高値)は群飛時以外のときよりも狭い傾向があったが、各階級と気温または湿度の平均値との間には一定の傾向がみられなかった。

群飛の発生時刻は季節によって早晚があり、6月では16時すぎから19時ごろまで、9・10月では15時から17時ごろまでであった(表5)。また、6月の観察では、当日の天候によって発生時刻が異なり、晴天日には日没の40分~1時間前から始まって同10~20分前に終了したのに対して、曇天日には日没の約2時間30分前から始まって同1~2時間前に終了した。

考 察

1. 生活史

賀茂川におけるコガタシマトビケラ成虫の発生時期については、津田(1942)は北大路橋付近で4月下旬~10月下旬とし、8月と10月に発生ピークがあると報告している。また、笹川と吉安(1986)は北大路橋下流の出町橋付近で6月上旬と8月(1983~84年)に、足立ら(1986)は同一場所での幼虫生息数の調査結果から、5月と8~9月(1984~85年)の2回の発生ピークをもち、いずれ

表5 コガタシマトビケラ成虫の群飛時刻

調査月日	天候	開始	終了	日没時刻
6月6日	晴れ	18:03	18:56	19:08
7日	くもり	16:35	18:03	19:09
10日	晴れ	18:10	18:51	19:10
13日	晴れ	18:32	18:47	19:12
20日	くもり	16:33	16:53	19:14
9月29日	晴れ	15:02	17:11	17:14
10月15日	晴れ	14:50	16:42	17:22
22日	晴れ	15:03	16:50	17:14

も本種は年2世代を経過すると推定している。

今回の北大路橋付近における幼虫発生量の調査結果では、本種は年3世代を経過することが明らかになった。そして、成虫の発生ピークは5月下旬~6月、8月中旬~9月、10月の3回と推定された。本調査で明らかのように、第1世代と第2世代の幼虫発育時期が重なる結果(1988年はとくに顕著であった)、成虫の出現期間も重なることになる。したがって、従来の成虫発生個体数に基づく報告では8~10月の発生が1山とみなされ、年2回発生と解された、と考える。なお、幼虫の発育期間については、サンプリング結果から、第1・2世代は40~80日、越冬世代は約240日と推定された。水温が10°C以下となる12月上旬から3月下旬にかけて幼虫は発育を停止するものと考えられる。

MACKAY(1979)は、シマトビケラ属の種では夏期の高水温、豊富なえさ資源、老熟幼虫が小型であることが多世代発生につながる条件であるとした。貴船川で生活環境を調べた谷田(1980)は、上流に生息するギフシマトビケラ幼虫は大型で年1回発生であるのに対して、中流に生息する中型幼虫のウルマーシマトビケラは年1また

は2世代を経過すると述べている。今回の調査地点は谷田のそれよりもずっと下流にあたり、水温は高く、えさは豊富な条件下にあるうえに、本種の幼虫は前2種に比べて一層小型であることから発生回数が多くなり、MACKAYの説に一致した。

本河川では毎年、春または秋にブルドーザーによる河床整正が行われている。それによってトビケラ類幼虫の死亡率が40%に達し、防除効果が評価されている(足立ら, 1987)。本調査期間中には2回(それ以上は調査中のため中止)の整正によって幼虫個体数がやはり減少し、整正前の5%以下となった。しかし、残存した個体群に上流からの流下個体加わって、次世代には回復した。したがって、本不快昆虫の発生を防除するために整正回数を増やすことが考えられるけれども、経費や漁業権(放流アユ)の関係で困難視されている。一方、集中豪雨による増水の後では、約1年間は個体数の回復がみられなかった。このことは、河床整正作業よりも増水ほん流による河床、ひいてはトビケラ類幼虫に対する影響が顕著であることがわかる。

河床整正や増水の影響を受けない場合、コガタシマトビケラの幼虫密度は3,000~6,000匹/㎡の高密度となり、幼虫の個体間干渉が考えられる。シマトビケラ科幼虫の頭部腹面には条線状の発音器官があり(WIGGINS, 1977)、個体間の闘争に用いられ、捕獲網や巣室に侵入する他個体に対する防御に役立っているといわれる(JANSSONとTUUKI, 1979)。本種の幼虫(第2~5齢)にも同じような発音器官が存在するので、高密度下では個体間あるいは異種個体間で機能しているものと推察されるが、今後の研究にまちたい。

シマトビケラ属をはじめとするトビケラ類の幼虫頭幅の成長にはDYARの法則があてはまり、齢ごとの成長定数(f)は約1.5であるという(MACKAY, 1978)。本種の f 値は第1世代で1.55、第2世代で1.50、越冬世代では1.56となり、約1.5であった。ついで世代ごとの幼虫頭幅値の違いを生息環境から検討すると、水温の高い6月下旬から9月下旬にかけて発育する第2世代幼虫は、高温によって発育は促進されるけれども、頭幅値は第1あるいは越冬世代幼虫のそれらに比べて小さいのが特徴であった。これは夏季の高水温が幼虫の発育ひいては大きさに影響を及ぼしたと考えられるにしても、さらに詳細な検討が望まれる。

さらに幼虫の大きさの差異については食性との関連が

考えられる。McELHONEとDAVIS(1983)によると、シマトビケラの一つ*Hydropsyche simulans*(ROSS)の幼虫数は藻類の付着した大きな石に多く、コガタシマトビケラの一つ*Cheumatopsyche* sp.のそれはコケ類の付着した石に多いという。一般に、シマトビケラ類の幼虫は微小有機物などのデトリタスをろ過摂食している(WIGGINS, 1977)。しかし、デトリタスの食物としての栄養効率は低く、珪藻類は質、量ともに重要であるといわれる(谷田, 1987)。本種幼虫の前腸内容物は、第1世代の4・5齢期では藻類が30~70%を占めたのに対して、他の世代の同齢期幼虫ではデトリタスの占める割合が高かった。頭幅値の最も小さかった第2世代の幼虫では藻類の比率が最も低かったことから、幼虫の大きさには食性との関連が示唆される。今後、幼虫の大きさの季節的变化については、藻類の発生消長と幼虫の成長との関係をはじめとして、生息密度や生息微環境などを合わせて詳しい検討が必要であると考えられる。なお、谷田(1987)によれば分布が源流部に限られるシロフツヤトビケラ*Parapsyche maculata*(ULMER)幼虫は肉食性で、分布域の広いウルマーシマトビケラ幼虫は雑食性であるという。今回の調査でもウルマーのほかナカハラ・ギフシマトビケラの幼虫はいずれも雑食性であることが確かめられた。しかし、コガタおよびエチゴシマトビケラ、オオシマトビケラの幼虫は動物質を摂取しないことがわかった。

処女雌成虫の蔵卵数と1卵塊中の卵数とが一致することから、雌成虫が産卵のために水中に入るのは1回だけであると推察される。そして、産卵時には速い水流域を避けて、瀬にある石礫の側面に産卵することによって、ふ化幼虫が流されることなく石礫の間隙で生存しやすいようにしているものと思われる。同じような産卵習性は、コガタシマトビケラの一つ*Cheumatopsyche speciosa*BANKSなどのアクリル半球体(水中に設置)に対する産卵実験結果でもみられ(DEUTSCH, 1984)、いずれも瀬の部分に生息する種の速い流速に対する適応であると考えられる。

2. 成虫群飛の行動学的意義

トビケラ類の群飛と環境要因との関係については、森と松谷(1953)が止水性トビケラ類成虫の群飛は種によって発生時刻が異なり、主として照度と時刻の複合要因によって決定されるほか、気温、輻射熱などの要因も関与することを報告した。西村(1987)は、ヒゲナガカワ

トビケラ *Stenopsyche marmorata* NAVAS の成虫は朝夕（日の出前および日没後50分ごろから）の2回、比較的狭い空間をS字状に上下左右に往復して飛びつづけるときの照度は400ルクス以下、気温は10℃以上、風力3以下であったという。また、群飛集団は多数の雄と少数の雌個体によって構成され、夕刻の群飛中には交尾個体がみられるし、それ以降の時間帯に交尾時刻が同調しているという。

コガタシマトビケラの群飛は夕刻にのみ見られ、早朝には見られないことが知られている（笹川・吉安, 1986）。今回の調査結果では、本種の群飛は一定の照度範囲（季節によって異なる）、気温、湿度、日没前時間、天候などの条件下で発生し、負の照度較差がその引き金となり（笹川・吉安, 1987-'88）、正のそれは抑制要因であった。6月の群飛が9・10月のそれに比べて発生時刻が遅く、照度範囲の下限値が低かったのは遅い日没時刻や高気温による抑制を受けたことによると考える。1988年5月19日、宇治川の宇治橋周辺でナカハラシマトビケラの群飛を観察したところ、17時26分（日没91分前）、照度9,500ルクスのときに始まり、漸次照度が低下する過程で消長を繰り返し、400以上1万ルクス未満の照度範囲で階級2・3の群飛がみられた。また、この照度範囲内の照度較差と群飛行動との関係についてはコガタシマトビケラのそれと同様であった。

群飛集団は雄のみで形成され、群飛中に交尾するペアは全く見られなかった。ナカハラシマトビケラの場合も同じであった。群飛集団の性比調査で少数の雌がみられたのは、木の枝や葉裏に止まっていた個体がスウィーピング時にたまたま採られたもので、実際に飛翔していた個体ではないと考える。本種を含むシマトビケラ類の雌成虫は夜間、顕著な走光性を示すことから（津田・川合, 1956）、本種の夕刻から夜間にかけての飛翔行動には雌雄でかなりの違いがあり、夕刻（日没前まで）には雄が飛翔し、夜間には雌が飛翔する行動パターンをとっていると思われる。また、成虫の羽化は夕刻から夜間（16時から21時までに全羽化虫数の71.4%を占める）にかけてみられることから、夕刻の群飛個体は羽化後1日以上経過した雄であることが推察される。

これらのことから、本種の群飛行動の意義を以下のように考える。交尾はいつでも可能であるとはいえ、夜間に雌成虫が川の上流に向かって産卵飛翔するため、それ以前に雄成虫は交尾活性を高めて雌の移動前にできるだ

け雌との遭遇機会を増やす必要がある。また、雌は水中で1回産卵するだけであるから、雄は自分の遺伝子を伝えるためには雌が産卵に向かう前に交尾を終え、適応度を高めるためには夕刻が最後の機会となる。したがって、雄たちは夕刻に交尾活性を高めるため、あるいは高まった結果が群飛行動として現われ、双翅目昆虫（DOWNES, 1969; GIBSON, 1985のアカイエカ; KON, 1984のセスジュスリカ）やヒゲナガカワトビケラにみられるような直接的な交尾前行動ではない。

謝 辞

本調査に当たって許可と便宜をはかっていただいた京都府土木事務所技術第一課の杉山紀征氏、水口剛氏に厚くお礼を申し上げます。また、調査・採集に協力された専攻生池田良、井上武司両君、コメントをいただいた査読者に深謝する。

引用文献

- 足立雅彦・森隆治・立岡修・松野喜六・笹川満廣・吉安裕（1985）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, II 幼虫及び成虫の生態. 昭和58年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 166-172. 京都府公害対策技術者会議.
- 足立雅彦・上田彬博・鯨奈順子・松野喜六（1986）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, コガタシマトビケラの生態 (2) 幼虫. 昭和59年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 183-196.
- 足立雅彦・上田彬博・鯨奈順子・松野喜六（1987）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, コガタシマトビケラの生態 (3) 幼虫. 昭和60年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 161-181.
- 足立雅彦・上田彬博・鯨奈順子・中嶋智子・松野喜六（1988）河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, コガタシマトビケラ *Cheumatopsyche brevilineata* IWATA の生態 (4) 幼虫. 昭和61年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 61-74.
- CUMMINS, K. W. (1973) Trophic relation of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 18: 183-206.
- DEUTSCH, W. G. (1984) Oviposition of Hydro-

- psychidae (Trichoptera) in a large river. *Can. J. Zool.* 62 : 1988-1994.
- DOWNES, J. A. (1969) The swarming and mating flight of Diptera. *Ann. Rev. Entomol.* 14 : 271-298.
- GIBSON, G. (1985) Swarming behaviour of the mosquito, *Culex pipiens quinquefasciatus* : a quantitative analysis. *Physiol. Ent.* 10 : 283-296.
- JANSSON, A. and V. TUULIKKI (1979) Significance of the stridulation in larval Hydropsychidae (Trichoptera). *Behaviour* 71 : 167-186.
- 木村ハル (1957) 京都加茂川の汚濁と生物相について. 日生態会誌 7 : 30-33.
- KON, M. (1984) Swarming and mating of *Chironomus yoshimatsui* (Diptera : Chironomidae) : Seasonal change in the timing of swarming and mating. *J. Ethol.* 2 : 37-45.
- MACKAY, R. J. (1978) Larval identification and instar association in some species of *Hydropsyche* and *Cheumatopsyche* (Trichoptera : Hydropsychidae). *Ann. Ent. Soc. Am.* 71 : 499-509.
- MACKAY (1979) Life history patterns of some species of *Hydropsyche* (Trichoptera : Hydropsychidae) in southern Ontario. *Can. J. Zool.* 57 : 963-975.
- McELHONE, M. J. and R. W. DAVIS (1983) The influence of rock surface area on the microdistribution and sampling of attached riffle dwelling Trichoptera in Hartley Creek, Alberta. *Can. J. Zool.* 61 : 2300-2304.
- 森 主一・松谷幸二 (1953) トビケラ類の日週行動とすみわけ. 動雑 62 : 29-36.
- 西村 登 (1987) ヒゲナガカワトビケラ. 日本の昆虫 9. 文一総合出版, 東京. 144pp.
- 笹川満廣・吉安 裕 (1986) 河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, II コガタシマトビケラの生態 (2) 成虫. 昭和59年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 197-200.
- 笹川満廣・吉安 裕 (1987) 河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, コガタシマトビケラの生態 (3) 成虫. 昭和60年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 182-189.
- 笹川満廣・吉安 裕 (1988) 河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, コガタシマトビケラの生態 (4) 成虫. 昭和61年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 75-81.
- 佐々木 司・吉本太郎・渡辺 修・柴田克己 (1985) 河川に発生するトビケラの生態とその防除についての調査研究, I アンケート調査. 昭和58年度京都府公害対策技術者会議調査研究報告書 161-165.
- 谷田一三 (1980) 貴船川におけるシマトビケラ属3種の生活史と分布, とくに生活環の変異と密度と幼虫の成長との関連について. 陸水雑 41 : 95-111.
- 谷田一三 (1987) シマトビケラ類幼虫の摂食生態と生態的分化. 木元新作・武田博清 (編) : 日本の昆虫群集一すみわけと多様性をめぐって. 124-132. 東海大学出版会, 東京.
- 津田松苗 (1942) 鴨川北大路橋に於ける毛翅目成虫の周年採集の成績. 動雑 54 : 262-267.
- 津田松苗・川合禎次 (1956) 宇治南郷発電所取水口における誘蛾灯に飛来するトビケラについての考察. 日生態会誌 6 : 73-75
- WIGGINS, G. B. (1977) Larvae of the North American caddis-fly genera (Trichoptera). University Press of Toronto, Toronto. 401pp.

Pathogenicity of an Entomogenous Fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, to *Coptotermes formosanus* SHILAKI

Tsuyoshi YOSHIMURA¹⁾, Kunio TSUNODA¹⁾, Munezoh TAKAHASHI¹⁾
and Yoshio KATSUDA²⁾

1) Wood Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan.

2) Research Laboratory, Dainihon Jochugiku Co. Ltd., Toyonaka, Osaka 561, Japan

(Received: August 6, 1991)

イエシロアリに対する昆虫寄生菌 *Conidiobolus coronatus* の病原性 吉村 剛¹⁾・角田邦夫¹⁾・高橋旨象¹⁾・勝田純郎²⁾ 1) 京都大学木質科学研究所、2) 大日本除虫菊株式会社中央研究所)

イエシロアリ職蟻から分離した昆虫寄生菌の一種である *Conidiobolus coronatus* TYRRELL & MACLEOD の病原性を数種の室内試験から検討した。*C. coronatus* 生育倒置培地から胞子を落下させた強制暴露試験における死中率100%到達日数は、3時間暴露で9日、6時間および24時間暴露で1日であった。顕微鏡観察によると、3時間暴露の場合2-3個の分生子がシロアリ体表に付着しているだけであったが、100%の死中率は *C. coronatus* の高い病原性を裏付けるものであった。*C. coronatus* 感染死亡職蟻1頭を用いて伝染性試験を行った結果、健全職蟻20頭投入区および50頭投入区でそれぞれ4日後および5日後に全個体が死亡した事から、*C. coronatus* が高い伝染性を有している事が明らかになった。イエシロアリに対する *C. coronatus* の高い病原性と伝染性は微生物によるシロアリ防除という観点から非常に興味深いものである。

An entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, was tested for its pathogenicity to a termite, *Coptotermes formosanus* SHIRAKI in some laboratory tests. Exposure of the termite workers to the fungus in inverted agar medium for 3 hr caused 100% mortality of workers within 9 days, although only two or three conidia were attached to the surface of each termite body after fungal exposure. All the workers died within only one day after fungal exposure for 6 or 24 hr. The results well demonstrated that *C. coronatus* had a very high potential to kill the termites in a short time. In contagiousness tests where a dead, *C. coronatus*-infected worker was placed among 20 or 50 sound workers, their mortality reached 100% within 4 or 5 days, respectively. The use of pathogenic and contagious *C. coronatus* in eradicating xylophagous subterranean termites such as *C. formosanus* is worth considering.

Key Words: Biological control, Termite, Entomogenous fungus, *Conidiobolus coronatus*, *Coptotermes formosanus*,

Introduction

Coptotermes formosanus SHIRAKI is a most dangerous pest for wooden constructions in the southern parts of Japan and United States. In these areas various chemicals (such as organophosphorus and carbamate insecticides and synthetic pyrethroids) have been used for preventive and remedial treatments to protect timber from termite attacks. Since the use of chemicals around our housing results in detrimental to environment in some cases, it seems urgent to develop a safer chemical or non-chemical control method based on a new concept.

Biological control of termites is the most interesting alternative method. THAXTER (1920) and TATE (1927, 1928) isolated parasitic fungi from infected termites and described them as *Termitaria* sp. HENDEE (1933) who studied *Kalotermitis minor*, *Reticulitermes hesperus*, and *Zootermopsis angusticollis*, isolated 33 genera and 20 unidentified fungi. Unfortunately their works were only concerned with the isolation and identification of the parasitic fungi. After the 1960's many workers started investigating the pathogenicity of fungi to termites, using *Aspergillus flavus* LINK (BEAL and KAIS, 1962; SANNASI, 1969), *Absidia coerulea* BAINIER (LUND and ENGELHARDT, 1962), *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILL. (BAO and YENDOL, 1971; LAI *et al.*, 1982), *Entomophthora* spp. (KREJZOVÁ, 1971) and *Metarhizium anisopliae* (LAI *et al.*, 1982). Termiticidal action was evidently observed for all the test fungi.

SMYTH and COPPEL (1966) isolated 7 fungi from *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR) and obtained 100% mortality in groups of 20 termites within 2 days after five minutes' contact with fungus growing medium for some *Penicillium* spp. YENDOL and PASCHKE (1965) investigated the pathogenicity of *Entomophthora coronata*

(CONSTANTIN) KEVORKIAN (Syn. *C. coronatus*) and *Entomophthora virulenta* HALL and DUNN to *Reticulitermes flavipes* (KOLLAR). They observed that the mortality reached over 90% after 84 hr in the case of *E. coronata*.

In Hawaii *C. formosanus* often attacks sugar cane as well as wooden structures. In the sugar cane fields the termites are most active under the ground, and the soil environment may have a significant effect on their activity. FUJII *et al.* (1980) incorporated organic materials such as soybean meal into the soil to increase the microbial activity, and succeeded in reducing the activity of termites under laboratory conditions. Similarly, KO *et al.* (1982) who tested the pathogenicity of five fungi isolated from soils of the areas where termites did not seem to exist concluded that *Entomophthora coronata* was the most harmful to *C. formosanus*.

Recently, SUZUKI (1991) investigated the pathogenicity of 17 mold fungi and 7 basidiomycetes to *C. formosanus* and *Reticulitermes speratus* KOLBE, and obtained a distinct termiticidal action for *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae*, and *Beauveria bassiana*. Moreover, it has been generally pointed out that the pathogenicity would be strongly varied with strains and the kinds of isolated hosts.

In this paper, the pathogenesis of *Conidiobolus coronatus* TYRRELL and MACLEOD, which was isolated from a laboratory colony of *C. formosanus*, will be discussed on the basis of the results of laboratory tests.

Materials and Methods

Isolation and Identification of C. coronatus

The *C. coronatus* culture used in this series of experiments was isolated from dead workers of *C. formosanus* maintained in the laboratory. Workers infected with the fungus were placed on nutrient agar medium for two days at 26°C,

and the axenic portion was taken as an inoculum to get a pure culture. Finally two pure strains were obtained after three consecutive reinoculations. A strain which had pathogenicity to *C. formosanus* in the preliminary experiments was identified as *C. coronatus* from its shape and size of conidia, way of growing, and formation of villose spores.

Termites

Termites used in these investigations were externally undifferentiated mature larvae (= workers) of *C. formosanus* which had been maintained in the laboratory at 28°C.

Pathogenicity Tests

Pathogenicity tests were conducted by forced exposure to fungal colonies as described earlier (YENDOL and PASCHKE, 1965). The test apparatus is shown in Fig. 1. Actively growing fungal

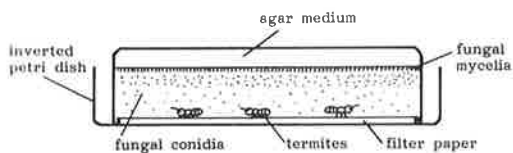


Fig. 1 The apparatus of fungal inoculation to *Coptotermes formosanus*. Conidia of *Conidiobolus coronatus* are falling over termites from fungus-growing medium.

colonies on the nutrient agar medium in petri dishes (90×20mm) were inverted and a filter paper (80mm diameter, damp with distilled water) was placed on the inside of the lid. Twenty workers were introduced onto the filter paper so that the workers were forcedly exposed to the falling fungal conidia. Following 1, 3, 6, and 24 hr exposure at 28°C, the workers were transferred into another petri dish (60×15mm) containing a damp filter paper as a food source. The degree of attachment of fungal conidia on the termites' bodies was examined under binocular microscope after the desired length of incubation at 28°C. Mortality of the inoculated workers was recorded at 24 hr intervals. Three

replicates were prepared for each test condition and controls were tested in the same manner using uninoculated medium.

Contagiousness Tests

A fungus-infected and dead worker was introduced into a petri dish [60×15mm, with slightly water-moistened sandy loam at the bottom (3mm)] together with 20, 50, or 100 sound workers and incubated at 28°C. Five replicates were set in this test, and mortality of the workers was recorded daily.

Results and Discussion

Diameter of *C. coronatus* conidia ranged from 15 to 40 μm (Fig. 2). This fungus proved to

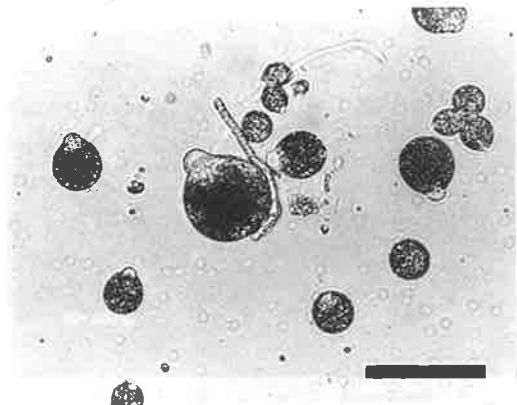


Fig. 2 Conidia of *Conidiobolus coronatus* growing on the malt agar medium. Scale bar is 50 μm.

grow very rapidly and easily on the malt agar medium. The cultures had an even floury surface, yellowish white in color. Figure 3 shows the workers of *C. formosanus* infected with the fungus. These individuals were first exposed to the fungal culture for 6 hr and then incubated for 48 hr at the time of photographing. Preceding death, the fungus-infected termites had uncoordinated movements, causing complete immobility in a short time. After death conidiophores grew out from the termites' bodies and eventually bore conidia (Fig. 4). YENDOL and PASCHKE (1965) stated that *E. coronata* (Syn. *C. coronatus*) penetrated into living workers of *R.*

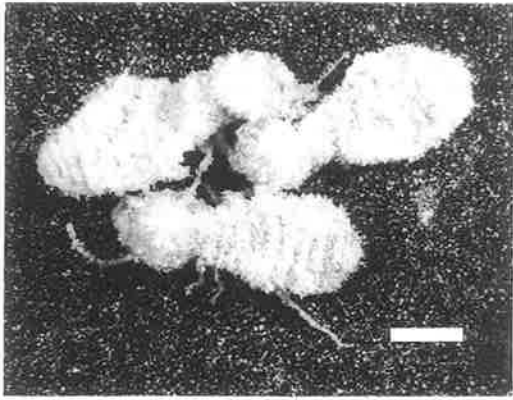


Fig. 3 Workers of *Coptotermes formosanus* infected with *Conidiobolus coronatus* after 48-hr incubation following 6 hr fungal exposure. Scale bar is 1 mm.

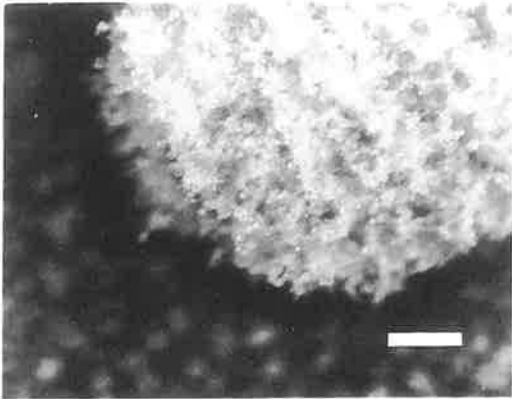


Fig. 4 Enlarged view of the individuals on Fig. 3, showing outward growth of conidiophores. Scale bar is 0.2 mm.

flavipes within 12 hr after exposure to the fungus and the invading hyphae attacked the fat body and musculature first, leading to a destruction of the remaining tissue as early as 32 hr after exposure. Our observations under a binocular microscope experiment also showed similar pathogenic phenomena.

The results of pathogenicity tests are summarized in Fig. 5. All workers incubated with *C. coronatus* for 3 hr or longer finally died and the longer incubation periods caused the earlier 100% mortality. Incubations for 6 and 24 hr led to the 100% death of workers within 24 hr, while it took 9 days in the case of 3 hr

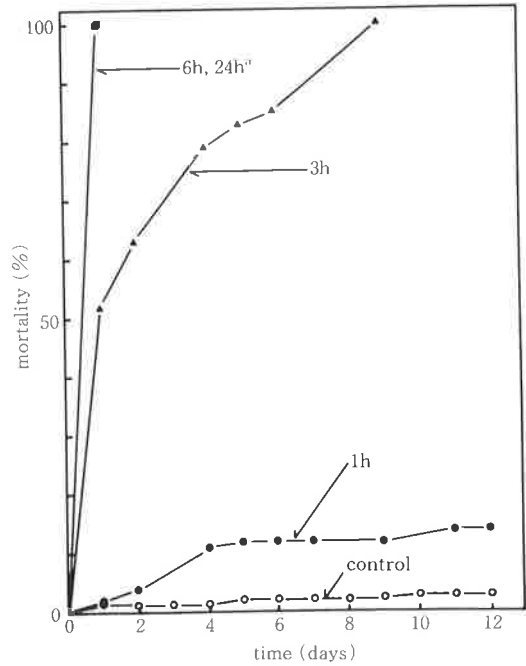


Fig. 5 Mortality of the workers of *Coptotermes formosanus* in pathogenicity tests. a: The length of fungal exposure using inverted culture medium (Fig. 1).

incubation. One-hour incubation caused 14.0% mortality after 12 days and the mortality of control termites was less than 3% at the end of the test. Microscopic observation showed that only two or three conidia were attached to the body surface of termites after 3 hr exposure. YENDOL and PASCHKE (1965) incubated the *R. flavipes* workers with *E. coronata* for 12 hr and obtained 50% and 97% mortality after 36 and 84 hr, respectively. KO *et al.* (1982) who also investigated the pathogenicity of *E. coronata* to *C. formosanus* reported that the workers fed on fungus-growing agar medium died within 6 days. Comparison of these results would suggest that our strain of *C. coronatus* is highly pathogenic to termites.

As shown in Fig. 6, a single fungus-infected worker could induce the total death of 20 or 50 sound workers if they were forced to be near the individual in a small chamber. The added sound